

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

(11) № de publication :  
(A utiliser que pour  
le classement et les  
commandes de reproduction.)

**2.076.450**

(21) № d'enregistrement national :  
(A utiliser pour les paiements d'annuités,  
les demandes de copies officielles et toutes  
autres correspondances avec l'I.N.P.I.)

**70.01437**

## (15) BREVET D'INVENTION

PREMIÈRE ET UNIQUE  
PUBLICATION

(22) Date de dépôt..... 15 janvier 1970, à 16 h 30 mn.  
Date de la décision de délivrance..... 20 septembre 1971.  
Publication de la délivrance..... B.O.P.I. — «Listes» n. 41 du 15-10-1971.

(51) Classification internationale (Int. Cl.)... H 02 k 51/00//F 02 c 7/00.

(71) Déposant : SOCIÉTÉ NATIONALE D'ÉTUDE ET DE CONSTRUCTION DE MOTEURS  
D'AVIATION, résidant en France.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Cabinet L.A. de Boisse.

(54) Perfectionnements aux installations motrices à turbines à gaz.

(72) Invention de : Rioux Christian, Paul, Gilbert.

(33) (32) (31) Priorité conventionnelle :

La présente invention concerne , d'une manière générale, les installations motrices à turbine à gaz, notamment celles qui sont destinées à la propulsion par réaction d'engins volants.

5 Les installations motrices à turbine à gaz actuellement utilisées comportent essentiellement au moins un compresseur d'air alimentant une ou plusieurs chambres de chauffage ou de combustion, et au moins une turbine dans laquelle les gaz sortant de la ou desdites chambres se détendent au moins 10 partiellement. La turbine fournit la puissance nécessaire à l'entraînement du compresseur et d'organes auxiliaires. Certaines installations comportent différents trajets de gaz ou d'air auxquels peut être associé au moins un compresseur ou soufflante supplémentaire (installations à plusieurs flux). Dans ce 15 qui suit, l'expression "compresseur" doit donc être comprise comme désignant également une telle soufflante.

Jusqu'à présent, on a toujours utilisé au moins un arbre de transmission rotatif pour coupler turbine et compresseur (ou soufflante) : l'arbre constitue en effet un organe 20 pouvant être simple et léger, et son rendement de transmission peut être très élevé.

En contrepartie, l'emploi de ce dispositif de transmission présente des inconvénients qui peuvent être particulièrement gênants, notamment dans les installations appelées à 25 fonctionner à des régimes très variables et lorsque de hautes performances sont exigées :

- La vitesse et le sens de rotation du compresseur sont évidemment déterminés par ceux de la turbine, ce qui rend difficile de choisir, pour chaque régime, la vitesse optimale 30 des différents étages du compresseur. On a limité en partie les effets de cet inconvénient en utilisant un compresseur à plusieurs corps dont chacun est entraîné séparément par un corps de turbine; mais ce procédé exige l'emploi de plusieurs arbres coaxiaux dont la réalisation est très délicate car ils posent 35 de sérieux problèmes de tenue mécanique (efforts de torsion importants, diversité des fréquences propres) et exigent des systèmes de paliers particulièrement complexes.

- Lorsque les roues successives du compresseur sont mécaniquement solidaires les unes des autres il est nécessaire

d'interposer entre elles des couronnes d'aubes fixes, qui augmentent considérablement la masse et l'encombrement de l'ensemble. Il est connu d'éliminer cet inconvénient en entraînant deux roues successives de compresseur respectivement par un arbre central 5 et par un arbre tubulaire extérieur couplés à deux corps de turbine contrarotatifs. Mais la réalisation d'un tel système comporte des difficultés sensiblement analogues à celles déjà mentionnées.

L'invention vise à éliminer la majeure partie au moins 10 des inconvénients de ce mode de transmission, et même à les faire disparaître en quasi-totalité dans certains modes de mise en oeuvre préférés bien que non exclusifs. A cet effet, l'invention propose une installation motrice à turbine à gaz du type comprenant un compresseur, une turbine, et un système d'en- 15 d'entraînement dudit compresseur à partir de ladite turbine, dans laquelle ledit système d'entraînement comprend au moins un générateur électrique homopolaire couplé à la turbine et au moins un moteur homopolaire couplé au compresseur et alimenté par ledit générateur.

20 Pour mieux faire apparaître les avantages attachés à ces dispositions, on rappellera tout d'abord quelques données relatives aux machines homopolaires, générateurs ou moteurs.

L'exemple le plus classique de machine homopolaire est le dispositif connu sous le nom de "roue de Barlow".

25 Comme la plupart des machines électrotechniques réversibles, les machines homopolaires utilisent l'interaction d'un courant électrique et d'un champ magnétique, dit champ inducteur. Le courant circule dans un induit tournant formé d'un ensemble de conducteurs distincts ou non les uns des autres. Cet induit 30 est dépourvu d'enroulements et de pièces polaires et peut avoir autour de son axe de rotation une forme à symétrie de révolution rigoureuse, ce qui en fait alors une pièce très simple, très légère et particulièrement robuste puisque les efforts mécaniques peuvent y être uniformément répartis. Le champ in- 35 ducteur nécessaire au fonctionnement d'une telle machine doit présenter de préférence une symétrie de révolution. On sait obtenir de façon particulièrement simple des configurations de ce genre.

Le couple des forces électrodynamiques par rapport

à l'axe de rotation est maximal lorsqu'en chaque point de l'induit le vecteur densité de courant et le vecteur champ magnétique sont perpendiculaires entre eux et contenus dans un plan axial. Ces conditions laissent une grande liberté pour le choix de la forme d'un induit efficace. Parmi toutes les formes possibles, on peut cependant distinguer deux types extrêmes :

5      a) les machines homopolaires à champ radial : les lignes de courant doivent être axiales et l'induit peut prendre la forme d'un anneau cylindrique mince dont les deux extrémités latérales sont les bornes électriques;

10     b) les machines homopolaires à champ axial : les lignes de courant doivent alors être radiales, et l'induit peut être constitué d'un disque homogène mince dont les deux bornes électriques sont les deux cercles concentriques qui le limitent.

15     D'une façon générale, la force électromotrice (ou contre-électromotrice)  $E$  d'une machine homopolaire est donnée par la relation :

$$E = \frac{\Phi \omega}{2 \eta}$$

20     dans laquelle  $\Phi$  désigne le flux de l'induction magnétique traversant l'induit, et  $\omega$  la vitesse angulaire de l'induit.

25     L'adaptation de machines homopolaires à la transmission d'énergie entre la turbine et le compresseur d'une installation motrice à turbine à gaz présente un grand intérêt du fait de leur puissance massique extrêmement élevée, de leur grande simplicité et de leur symétrie de révolution, qui les rendent aisément intégrables dans la structure d'ensemble de l'installation, à laquelle on verra dans la suite qu'elles peuvent conférer une grande souplesse de fonctionnement.

30     Parmi les caractéristiques propres aux machines homopolaires, certaines rendent hautement préférable - quoique non absolument nécessaire à la mise en oeuvre de l'invention - l'emploi de moyens non classiques, susceptibles notamment de permettre l'utilisation d'intensités et de champs inducteurs élevés, pour obtenir des moteurs ou des générateurs possédant à la fois une grande puissance et un excellent rendement électrique, ainsi que des dimensions du même ordre, axialement ou radialement, que celles des pièces tournantes des installations

motrices à turbine à gaz usuelles.

Ainsi, par exemple, l'intensité traversant l'induit d'un moteur homopolaire entraînant en rotation une couronne d'aubes de compresseur de turboréacteur doit être de l'ordre de  $10^4$  à  $10^5$  ampères. Aux vitesses de rotation couramment admises, relativement élevées, le problème posé par la mise en contact électrique de l'induit tournant avec ses amenées de courant n'est pas le plus convenablement résolu par l'emploi d'un collecteur classique à bague et balais, qui engendrerait des pertes relativement importantes par friction et par effet Joule. Une solution avantageuse consiste à utiliser un anneau de métal liquide limité entre deux parois conductrices qui forment l'une la partie fixe et l'autre la partie tournante de la zone de contact électrique. On peut utiliser par exemple à cette fin le mercure, un alliage mercure-indium, un eutectique du potassium et du sodium, ou, de façon générale, tout métal ou alliage de bonne conductivité électrique dont le point de fusion est inférieur à la température à laquelle ce métal ou cet alliage se trouvent portés pendant le fonctionnement de la machine, ou, de préférence, à la température ambiante minimale de mise en service.

Les exigences relatives au rendement électrique et à la puissance à transmettre conduisent, à vitesse de rotation donnée, à utiliser des valeurs élevées du flux  $\Phi$ . Afin de concentrer celui-ci dans une région peu étendue et, par conséquent, de réduire les dimensions de l'induit le plus possible, il faut utiliser des champs inducteurs intenses, de l'ordre de plusieurs teslas, qui peuvent être fournis par des bobines de champ supraconductrices. À l'aide d'enroulements inducteurs constitués, par exemple, d'un alliage de niobium et de titane maintenu dans l'état de supraconductivité par un bain d'hélium liquide, on peut obtenir des champs de 8 à 9 teslas. Les alliages de niobium et d'étain actuellement à l'étude permettront d'atteindre des valeurs dépassant 15 teslas.

Les bobines de champ supraconductrices peuvent être constituées d'un anneau de faible épaisseur formé de spires serrées centrées sur l'axe de rotation de l'induit de la machine homopolaire. Dans une machine à champ radial, le champ peut être obtenu à l'aide de deux de ces bobines situées de part et

d'autre de l'induit cylindrique et parcourues par des courants de sens contraires. Dans une machine à champ axial, la disposition des bobines peut être la même, mais les courants traversent alors chacune d'elles dans le même sens.

5 La consommation électrique de bobines de champ supraconductrices est négligeable : elle se réduit en effet à la dissipation par effet Joule dans les parties du circuit inducteur qui ne sont pas à l'état supraconducteur, c'est-à-dire dans les connexions.

10 Le réglage de la vitesse  $\omega$  d'un moteur homopolaire peut être effectué en agissant sur l'intensité du courant qui traverse les bobines de champ pour modifier le flux  $\Phi$  : si l'on utilise plusieurs moteurs homopolaires entraînant chacun un corps ou un étage de compresseur, on peut, pour chaque régime 15 de l'installation, adapter la vitesse de chacun des moteurs de telle sorte que le rendement aérodynamique d'ensemble soit maximal. Comme les intensités de courant qui traversent les bobines de champ peuvent avoir des valeurs relativement modérées, la réalisation de moyens d'ajustement ou de régulation 20 de ces intensités ne soulève pas de problème technologique majeur.

Des propriétés particulières aux moyens envisagés ci-dessus permettent en outre de résoudre simplement les problèmes de compensation des efforts aérodynamiques et de supprimer les paliers classiques utilisés jusqu'à présent à cet effet :

25 En particulier, lorsque les lignes de courant traversant l'induit d'une machine homopolaire ne sont pas contenues dans des plans axiaux mais sensiblement inclinées par rapport à ceux-ci, les forces de Laplace correspondantes possèdent en général une composante axiale non nulle; cette composante est 30 à tout instant proportionnelle au couple de la machine. Or, en régime permanent, la composante axiale des efforts aérodynamiques d'une roue de compresseur ou de turbine est également proportionnelle, très sensiblement, au couple résultant de ces efforts. Il en résulte que l'on peut calculer l'induit d'une 35 machine homopolaire de telle sorte que l'inclinaison des lignes de courant (qui joue ici un rôle assez analogue à celle des aubes d'une roue) donne lieu à une compensation exacte de la résultante des efforts axiaux aérodynamiques exercés sur une roue ou un groupe de roues solidaires de cet induit par la résul-

tante des efforts axiaux électrodynamiques correspondants pour tout régime permanent. Des moyens complémentaires utilisant ce principe seront décrits plus loin, qui sont susceptibles de maintenir cet équilibre lors des régimes transitoires si nécessaire.

5 A titre d'exemple, la réalisation selon l'invention utilise à cet effet des fentes obliques pratiquées dans l'induit de machines du type à champ radial.

Pour ce qui concerne les contraintes radiales s'exerçant sur les roues, les contacts tournants à métal liquide peuvent cumuler leur fonction de conduction électrique avec celle de paliers de centrage, suivant les techniques connues en matière de paliers fluides hydrostatiques ou hydrodynamiques.

A titre illustratif, on peut noter les données numériques suivantes, qui correspondent sensiblement aux caractéristiques à rechercher pour le moteur d'entraînement d'une roue de compresseur axial à plusieurs étages dans un turboréacteur d'assez forte poussée :

puissance absorbée	:	1 MW
rendement global*	:	98,9%
20 force électromotrice	:	20 volts
vitesse de rotation	:	1000 rad/s
champ inducteur moyen	:	10 teslas

(\*) l'induit est en cuivre allié et les contacts liquides utilisent le mercure. Le rendement global tient compte de l'ensemble des pertes par effet Joule dans l'induit et dans les contacts, et des pertes par frottement visqueux au niveau de ceux-ci.

Pour les deux types particuliers de machines homologues auxquels il a été fait référence, on arrive alors aux caractéristiques suivantes, qui donnent une idée des facteurs susceptibles d'orienter le choix de l'un ou l'autre de ces deux types ou même d'un type intermédiaire aux différents niveaux où son utilisation peut être requise :

a) pour une machine à induction radiale :  
35 La partie utile de l'induit est un cylindre creux de 100 mm de rayon, 1 mm d'épaisseur et 50 mm de long. Sa masse est de 280 g et sa puissance massique de  $4 \cdot 10^6$  W/kg.

b) pour une machine à induction axiale :  
L'induit comporte un disque de 100 mm de rayon intérieur,

d. 120 mm de rayon extérieur et de 3 mm d'épaisseur. Sa masse est de 370 g et sa puissance massique de  $2,7 \cdot 10^6$  W/kg.

Ainsi, outre leur puissance massique extrêmement élevée, leur grande simplicité et leur symétrie de révolution, 5 dont il résulte notamment qu'il devient particulièrement aisés de réaliser très simplement des ensembles compacts dans lesquels une machine homopolaire se trouve parfaitement intégrée à un corps ou à un étage de compresseur ou de turbine sans augmentation sensible de la masse ou de l'encombrement de ceux-ci, les 10 machines homopolaires d'une transmission électrique selon l'invention peuvent constituer avec les moyens de transmission de courant qui les associent entre elles et les moyens d'obtention des champs magnétiques inducteurs un ensemble possédant globalement une symétrie de révolution à peu près parfaite, qui coincide très avantageusement, tout autant sur le plan fonctionnel 15 que sur le plan morphologique, avec la symétrie axiale de révolution qui préside assez généralement à la conception et au fonctionnement des turbomachines.

Une autre propriété d'ensemble de très grand intérêt 20 est qu'à la configuration aérodynamique la plus avantageuse, dans laquelle tous les étages du compresseur et tous les étages de la turbine sont respectivement contrarotatifs entre eux, peut correspondre la configuration électrique la plus simple et la plus rentable, dans laquelle les générateurs et les moteurs consécutifs sont en série, ce qui permet de maximaliser simultanément les efficacités mécanique, électrique et aérodynamique, tout en conservant l'avantage de pouvoir régler la vitesse de chaque étage de façon pratiquement indépendante en agissant séparément sur le courant qui traverse les bobines de 25 champ associées à chaque roue ou groupe de roues.

L'invention comporte encore d'autres dispositions avantageusement utilisables conjointement à celles mentionnées ci-dessus d'une manière générale, mais pouvant l'être aussi de façon indépendante.

35 La description qui va suivre en regard des dessins annexés, donnés à titre d'exemple non limitatif, fera bien comprendre comment l'invention peut être réalisée, les particularités qui ressortent tant des dessins que du texte faisant, bien entendu, partie de ladite invention.

La figure 1 représente le schéma de principe d'une installation motrice à turbine à gaz à simple flux utilisant une transmission électrique selon l'invention, représenté en coupe suivant un plan axial;

5 Les figures 2 et 3 sont des vues plus détaillées en coupe axiale, respectivement d'une fraction du compresseur et de la turbine faisant partie de l'installation représentée à la figure 1;

10 La figure 4 est une vue en coupe, suivant la ligne IV-IV de la figure 2 ou de la figure 3, de la structure centrale de l'installation représentée à la figure 1;

Les figures 5 et 6 sont des schémas montrant, en plan développé, des moyens préférés de compensation des efforts aérodynamiques axiaux;

15 La figure 7 est un schéma montrant, en élévation, une variante des dispositions représentées aux figures 5 et 6;

Les figures 8 et 9 représentent, respectivement en coupe axiale et en plan développé, d'autres dispositions visant à la compensation des efforts axiaux, et comportant des moyens 20 de réglage de cette compensation;

Les figures 10 et 11 représentent, respectivement en élévation et en coupe axiale, une variante des dispositions montrées aux figures 8 et 9.

25 La figure 12 est une vue en demi-coupe axiale d'une variante d'exécution d'un compresseur et de ses moyens d'entraînement.

La figure 13 est une vue en demi-coupe axiale d'une autre variante d'exécution d'un compresseur et de ses moyens d'entraînement;

30 La figure 14 est un schéma représentant en demi-coupe axiale une installation motrice à turbine à gaz à double flux comportant une soufflante entraînée par une transmission électrique selon l'invention;

35 La figure 15 est une vue plus détaillée en demi-coupe axiale des organes de transmission entraînant la soufflante représentée à la figure 14.

L'installation motrice à turbine à gaz représentée à la figure 1, du type à simple flux, est constituée par un turboréacteur contenu de façon classique dans un carter 8 muni

d'une entrée d'air 9 et prolongé par une tuyère 10. Ce turboréacteur comporte d'amont en aval un compresseur A à dix étages par exemple, une chambre de combustion C et une turbine D à deux étages; le sens de parcours des gaz est indiqué par la flèche F.

5 Contrairement aux dispositions classiques, la structure centrale du turboréacteur, désignée par le repère S, est formée d'éléments coaxiaux tous fixes. Ces éléments servent de support aux parties tournantes du compresseur et de la turbine, assurent la rigidité mécanique d'ensemble, ainsi que la transmission

10 aux moteurs du courant électrique produit par les génératrices; le trajet de celui-ci est schématisé par les flèches I. La structure centrale S est rendue solidaire du carter 8 par des bras radiaux tels que 13 et 15. Les roues du compresseur A, toutes contrarotatives, sont entraînées indépendamment les unes des

15 autres par des moteurs électriques homopolaires alimentés par des génératrices homopolaires également indépendantes accouplées aux roues de la turbine D, qui sont aussi contrarotatives.

La structure centrale S (figures 2, 3 et 4) est formée de trois parties coaxiales fixes : un arbre massif 11, un cylindre intermédiaire 16 étagé et un cylindre périphérique 44. L'arbre central 11 constitue un premier conducteur électrique reliant les génératrices aux moteurs. Le cylindre intermédiaire 16 est calé coaxialement à l'arbre central 11 par l'entretoise annulaire 12 (figure 2) et par un embout 14 (figure 3), qui 25 l'assujettissent à l'arbre 11 par ses extrémités. Il constitue, par l'intermédiaire de paliers, le support des roues de compresseur et de turbine. Le cylindre 44 est contigu au précédent, auquel il est assujetti. Il constitue un second conducteur électrique entre les génératrices et les moteurs.

30 Le cylindre intermédiaire 16, qui vient en contact mécanique avec divers éléments auxquels il sert de support et qui se trouvent à des potentiels électriques différents, est revêtu à sa périphérie d'une couche d'alumine 89 (figure 4) assurant l'isolation électrique nécessaire. Les différences de potentiel restant en tous points inférieures à quelques centaines de volts tout au plus, cette couche peut être suffisamment mince pour ne créer aucun problème de tenue mécanique et pour ne pas gêner l'évacuation de la chaleur. Comme il sera vu plus loin, la structure centrale peut être refroidie par un système

de canaux dans lesquels circule le combustible.

Le compresseur A, dont les parties amont et aval sont représentées à la figure 2, comporte dix étages contrarotatifs associés, chacun, à un moteur homopolaire.

5 La roue 122 constituant le premier étage du compresseur comprend une couronne d'aubes 120 montée sur un support qui se compose d'une jante 124 de réception des aubes reliée par des voiles 126 à l'induit 128 en forme de tambour du moteur homopolaire correspondant. Le courant électrique traverse l'induit 128 dans la direction axiale; il est amené par deux contacts tournants à métal liquide 130 et 131 situés sensiblement au droit des extrémités latérales de l'induit 128. Ces contacts tournants constituent également des paliers fluides de centrage de la roue. Chacun d'eux est formé par un anneau de métal liquide mouillant 10 deux surfaces coopérantes dont l'une est une partie d'une extrémité latérale de l'induit tournant dont la roue 122 est solidaire et l'autre un épaulement fixe, qui assure à la fois le passage du courant et le positionnement de la roue en rotation.

La partie fixe du contact 130 est un épaulement 16a 20 de l'extrémité amont du cylindre intermédiaire 16, qui est en contact électrique avec l'arbre conducteur central 11 par l'intermédiaire de l'entretoise annulaire 12. La partie fixe du contact 131 est un épaulement 134a de la bague 134, électriquement isolée de son support 16 par la pellicule d'alumine 89 25 déjà mentionnée.

L'induit 128 est, par exemple, en cuivre allié, présentant à la fois une excellente conductivité électrique ainsi qu'une robustesse mécanique satisfaisante.

Le champ inducteur est fourni à l'induit 128 par deux 30 bobines de champ supraconductrices 36 et 136 comprenant un certain nombre de spires enroulées suivant l'axe de la roue. Elles sont situées sensiblement au droit de chacune des extrémités de l'induit 128 et alimentées par des courants qui traversent chacune d'elles en sens contraires, de façon à fournir une induction 35 suivant les lignes de force indiquées schématiquement par des flèches B, dont la direction est sensiblement radiale au voisinage de l'induit 128.

Les étages suivants du compresseur sont d'une constitution analogue à celle du premier, et c'est pourquoi la figure 2

ne représente que les trois premiers et les deux derniers d'entre eux. Les contacts tournants 230 et 231 de la roue 222 du deuxième étage ont respectivement pour partie fixe un second épaulement 134b de la bague 134 et un premier épaulement 234a de la bague 234, qui, comme la précédente, est solidaire du cylindre intermédiaire 16 bien qu'isolée électriquement de celui-ci. La bague 134 met ainsi en contact électrique l'extrémité aval de l'induit 128 du premier étage avec l'extrémité amont de l'induit 228 du second; de même la bague 234 pour ce qui concerne les induits 10 228 et 328 du second et du troisième étages, et ainsi de suite jusqu'au dixième, qui prend appui par le contact liquide 1031 sur l'épaulement 44a du cylindre périphérique 44 constituant, comme déjà indiqué, le second élément de l'ensemble des deux conducteurs qui transmettent au compresseur l'énergie électrique 15 produite par les génératrices couplées à la turbine.

Le champ inducteur du moteur homopolaire du second étage du compresseur est créé par la bobine de champ 136 et une bobine de champ 236; cette dernière bobine est parcourue dans le même sens que la bobine 36 par le courant d'alimentation, 20 et les lignes de champ, représentées par les flèches B, sont sensiblement radiales au voisinage de l'induit 228.

Les bobines intermédiaires, telles par exemple que 136, sont communes aux moyens de création du champ inducteur de deux roues de compresseur consécutives. Elles sont alimentées 25 de telle sorte que deux consécutives d'entre elles soient parcourues par le courant en sens contraires. Le circuit d'alimentation de ces bobines n'a pas été représenté, mais les moyens de sa réalisation seront évoqués plus loin.

En fonctionnement, les induits sont parcourus en série 30 et dans le même sens par le courant électrique, et traversés par un flux magnétique inducteur dont le signe change de chaque étage au suivant. Il en résulte que deux roues consécutives quelconques tournent en sens contraire. On peut remarquer que cet effet est obtenu par la plus simple possible des dispositions relatives des induits d'une part, et des bobines de champ d'autre part.

Les bobines de champ 36, 136, ..., 1036 sont constituées d'un matériau maintenu à l'état supraconducteur par une circulation de liquide cryogénique. Dans ce but, l'ensemble de ces bobines est disposé dans un fourreau 45 thermiquement isolant

muni d'ajutages 46 et 48 d'aménée et d'évacuation d'hélium liquide, fourreau calé entre l'arbre central 11 et le cylindre intermédiaire 16.

Les bobines de champ de chacun des moteurs homopolaires du compresseur peuvent être avantageusement associées à un système de programmation générale, non représenté, qui, par réglage manuel ou, de préférence, automatique, de l'intensité traversant chacune d'elles, permet par la variation correspondante du champ d'induction, d'ajuster la vitesse de rotation de chaque étage du compresseur de telle sorte que son rendement aérodynamique reste optimal à tous les régimes de vol. Bien que les moyens d'obtention du champ inducteur de chaque étage ne soient pas complètement indépendants d'un étage au suivant, un tel ajustement est pratiquement réalisable entre des limites beaucoup plus larges même que celles qui sont requises pour permettre l'adaptation aérodynamique en question.

Comme celles du compresseur, les roues de la turbine représentée à la figure 3 sont contrarotatives et associées chacune à l'induit d'une machine homopolaire. Elles comportent aussi des contacts tournants à métal liquide constituant en même temps des paliers fluides de centrage.

La première roue de turbine 1 comprend une couronne d'aubes 150 fixées sur une jante 152, solidaire de l'induit 154 de la génératrice homopolaire qui lui est associée. L'induit 154 comporte une région 154a en forme de tambour qui se prolonge radialement vers la périphérie en une région 154b en forme de disque. La disposition de l'induit 254 de la seconde roue est symétrique de celle de l'induit 154, et sa constitution est analogue.

L'extrémité axiale de la région 154a est mise en contact électrique avec un épaulement 44b du cylindre périphérique 44 par un contact tournant à métal liquide 161. L'extrémité radiale périphérique de la région 154b est mise en contact électrique avec la partie homologue de l'induit 254 au moyen de contacts tournants à métal liquide 162 et 262 par l'intermédiaire d'une bague fixe 56 solidaire d'un disque 54 qui est fixé au cylindre intermédiaire 16. Enfin, un contact tournant à métal liquide 261 met en contact électrique l'extrémité axiale de la région 254a en forme de tambour de l'induit 254 avec l'arbre central 11.

par l'intermédiaire de l'embout 14. Les deux génératrices sont ainsi mises en série et reliées électriquement aux moteurs du compresseur par les conducteurs 11 et 44 précités; le sens des champs inducteurs, précisé plus loin, étant tel que les forces 5 électromotrices des génératrices soient additives.

Les bobines de champ des génératrices, désignées par les repères 60, 160, 260, 164, 264, sont disposées de façon sensiblement symétrique par rapport au plan médian des deux roues de turbine. Les bobines 60, 160 et 260 sont alimentées par des courants de même sens et créent un champ sensiblement axial et relativement uniforme dans la partie en forme de disque des induits 154 et 254 des génératrices. Les deux bobines 164 et 264 sont parcourues par des courants de même sens, opposé au sens de parcours du courant dans les bobines 60, 160, et 260. Compte tenu de la présence des précédentes, ces bobines créent un champ sensiblement radial au voisinage de la région en forme de tambour des induits. Les flèches B représentent schématiquement la configuration du champ. Les deux roues de turbine étant contrarotatives, il apparaît clairement que le mode d'association électrique des induits qui vient d'être décrit, et qui est le plus simple possible, correspond à l'additivité des forces électromotrices.

Comme celles du compresseur, les bobines de champ 60, 160, 260, 164, 264 sont constituées par un matériau maintenu à 25 l'état supraconducteur par de l'hélium liquide circulant dans des gaines 70 entourant les bobines.

Tout comme les induits des moteurs, ceux des génératrices sont constitués en un métal possédant une bonne conductivité électrique ainsi qu'une résistance convenable aux efforts mécaniques. Comme on peut le constater sur la figure 3, la partie en forme de disque des induits des génératrices joue mécaniquement le rôle des "disques de turbine" des turbomachines classiques, et doit notamment pouvoir résister à des efforts centrifuges importants. C'est pourquoi une telle région peut aussi, 35 en variante, être constituée d'un matériau composite formé de deux parties accolées, dont l'une est en alliage usuel à haute performance mécanique et dont l'autre, plus mince, est en métal ou alliage à haute conductivité et joue le rôle de l'induit proprement dit.

La circulation du courant entre les induits des génératrices et ceux des moteurs est représentée par les flèches I (figures 2 et 3).

Il convient de noter que les surfaces de séparation 5 liquide-solide au niveau des contacts tournants sont orientées de façon telle que les lignes du champ magnétique leur soient sensiblement tangentes, une telle disposition permettant d'éliminer les pertes par courants de Foucault dans le métal liquide entraîné en rotation.

Sur les figures 2 et 3, le circuit électrique d'alimentation des enroulements de champ des machines homopolaires n'a pas été représenté. Celui-ci doit fournir sous faible puissance un courant d'une intensité relativement élevée (quelques milliers d'ampères), et il peut comporter par exemple un convertisseur électrique statique contrôlé par des éléments semi-conducteurs du genre de ceux connus sous le nom de "thyristors", qui permettent d'effectuer une commande très souple de l'intensité qui les traverse, ce qui convient particulièrement bien à leur utilisation comme moyens de contrôle de vitesse des couronnes d'aubes mobiles, tels que ceux dont la possibilité d'emploi a été plus haut mentionnée.

Le refroidissement de la structure centrale S, sujette notamment à un échauffement par effet Joule, est assurée par la circulation du carburant d'alimentation de la turbomachine dans 25 des canaux 72 et 74 aménagés dans le cylindre intermédiaire 16 et dans l'arbre central 11. Le carburant est admis dans les canaux 72 disposés en couronne (figure 4) dans le cylindre intermédiaire 16 et revient par des raccords 76 en U dans les canaux 74 ménagés dans l'arbre central 11; le circuit du combustible se poursuit ensuite vers les injecteurs (non représentés).

La compensation des contraintes axiales subies par les roues de compresseur et de turbine est effectuée en engendrant une force électrodynamique de sens opposé à la résultante axiale des efforts aérodynamiques exercés sur les aubages de 35 chaque roue. Dans ce but, on peut donner une composante tangentielle à la densité de courant dans l'induit des machines homopolaires correspondantes en les munissant par exemple de fentes comme représenté par les figures 5 et 6, ou, de façon plus générale, en rendant anisotrope la conductivité électrique d'une

partie au moins dudit induit. On pourrait également utiliser des bobines de champ disposées de telle sorte que le champ inducteur présente une composante tangentielle appréciable au voisinage des induits, mais une telle disposition ne se prête guère à une réalisation commode.

La figure 5 montre en vue développée la configuration des induits du compresseur représenté à la figure 2 : ces induits comportent, chacun, un ensemble de fentes minces 68 régulièrement espacées, éventuellement comblées par une substance isolante ou relativement peu conductrice. Ces fentes ont pour effet d'incliner les lignes de courant traversant les induits 128, ..., 1028.

C et F étant respectivement le couple et la résultante axiale des forces électrodynamiques développées par le passage du courant, on a, indépendamment de l'intensité traversant l'induit :

$$\frac{F}{C} = \frac{1}{R} \operatorname{tg} \alpha$$

$\alpha$  étant l'inclinaison moyenne des fentes par rapport à l'axe de rotation et R le rayon de l'induit. Pour une roue du compresseur, une inclinaison de l'ordre de quelques degrés permet d'obtenir l'équilibrage axial recherché, celui-ci se conservant pour tout régime permanent comme il a été précédemment indiqué.

Les lignes de courant traversant les induits sont représentées par le pointillé I; elles ont une inclinaison qui est très sensiblement celle des fentes. Compte tenu du changement du sens du champ inducteur dans les induits successifs, les fentes dont ils sont porteurs sont dirigées alternativement dans un sens et dans l'autre.

La figure 6 représente en vue développée la configuration des parties 154a et 254a en forme de tambour des induits de turbine représentés à la figure 3, qui comportent un système analogue de fentes 69 régulièrement espacées. Compte tenu du fait que la charge de chaque roue de turbine est beaucoup plus importante que celle de chaque roue de compresseur et que les fentes 69 n'occupent qu'une faible partie de la surface de travail des induits 154 et 254, leur inclinaison est notablement plus grande que celle des fentes 69 des induits du compresseur. Il suffit de régler une fois pour toutes le rapport des intensités

traversant les bobines 164 et 264 à celles traversant les bobines périphériques telles que 160 pour que la compensation des efforts axiaux soit ainsi assurée pour tout régime permanent. Cependant, en agissant séparément sur les premières, on peut 5 effectuer en fonctionnement un réglage fin de la compensation sans modifier notablement le couple des génératrices.

La figure 7 représente une variante de réalisation permettant d'obtenir une composante électrodynamique axiale dans un induit en forme de disque. A cet effet, l'induit 81 10 est muni d'un ensemble de fentes régulièrement espacées 82 et inclinées d'un angle  $\alpha$  par rapport aux plans passant par son axe de rotation; ces fentes occupent une région plus ou moins étendue radialement, dans laquelle le champ inducteur  $B$  possède une composante radiale  $B_r$  notable.

15 Si l'on considère dans l'induit 81 une couronne circulaire élémentaire de rayon  $r$  située dans la région des fentes 82, et si  $B_z$  désigne la composante axiale du champ  $B$ , le rapport  $K$  de la force axiale et du couple engendrés par le passage du courant  $I$  dans cette couronne circulaire est :

20

$$K = \frac{1}{r} \cdot \frac{B_r}{B_z} \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

Ce rapport est indépendant de l'intensité  $I$  du courant traversant l'induit. De plus, lorsque les moyens d'obtention du champ  $B$  ne comportent qu'un seul enroulement, le rapport  $K$  est également indépendant de l'intensité du courant traversant cet enroulement, et, s'ils en comportent plusieurs, il ne dépend alors que du rapport des intensités traversant chacun d'eux.

30 Comme précédemment, une valeur convenable de l'angle  $\alpha$  permet donc d'assurer ici pour tout régime permanent la compensation axiale recherchée.

Afin de pouvoir effectuer commodément un réglage fin de la compensation électrique des efforts axiaux, on peut utiliser 35 les dispositions représentées par les figures 8, 9, 10 et 11.

La figure 8 montre schématiquement deux roues de compresseur consécutives 22a et 22b entraînées chacune en rotation par une machine homopolaire comportant un induit en forme

de tambour.

L'induit 28a solidaire de la roue 22a est soumis au champ magnétique sensiblement radial créé par des bobines principales 36a et 36b placées au droit de ses extrémités et parcourues par des courants de sens opposés dont le réglage permet de faire varier le couple de la machine. Aux bobines 36a et 36b s'ajoute une bobine auxiliaire 37a située sensiblement dans le plan médian transversal de l'induit 28a.

La figure 9 montre la configuration de l'induit 28a représenté à la figure 8. Celui-ci comporte des fentes 80 régulièrement espacées, et dont l'inclinaison moyenne est notablement inégale de part et d'autre du plan de la bobine 37a. De préférence, cette inclinaison est choisie de façon telle que lorsque la bobine 37a n'est parcourue par aucun courant, la force électrodynamique axiale qui en résulte équilibre sensiblement les efforts aérodynamiques axiaux auxquels est soumise la roue 22a en régime permanent. Le champ créé par le passage d'un courant dans la bobine 37a a pour effet de modifier la répartition du flux magnétique de part et d'autre de son plan, ce qui entraîne une variation de la résultante des forces électrodynamiques axiales sans provoquer de variation appréciable du flux magnétique total traversant l'induit, du fait de la situation sensiblement médiane de la bobine 37a par rapport à l'induit 38a. Une telle disposition permet ainsi d'effectuer le réglage fin de la force axiale de compensation sans modifier le couple de la machine homopolaire. Son emploi est particulièrement approprié à l'obtention d'une compensation axiale rigoureuse, notamment dans les régimes transitoires d'une turbomachine selon l'invention.

La machine homopolaire entraînant la roue 22b représentée à la figure 8 comporte des dispositions analogues; toutefois, compte tenu des sens respectifs du champ et du courant, l'orientation des fentes que comporte l'induit 28b doit être symétrique de celle des fentes de l'induit 28a.

Le dispositif représenté par les figures 10 et 11 concerne une machine homopolaire du type à champ axial et vise aux mêmes buts que celui des figures 8 et 9.

L'induit 83 en forme de disque comporte des fentes 84 inclinées par rapport aux plans passant par son axe, fentes

dont la forme ne dépend que de la répartition radiale la plus souhaitable des forces électrodynamiques axiales qu'elles viennent à créer. Deux bobines identiques 85 et 86 dont le diamètre est, de préférence, voisin du diamètre extérieur de l'induit 83 sont disposées coaxialement et suivant deux plans symétriques par rapport à celui-ci. Elles sont parcourues par des courants de même sens qui engendrent un champ magnétique dont la direction est sensiblement axiale dans la région de l'induit 83, courants dont le réglage permet de faire varier le couple absorbé ou fourni par la machine. Deux bobines auxiliaires 87 et 88 disposées de la même manière que les précédentes, et dont le diamètre est de préférence voisin du diamètre intérieur de l'induit 83, sont parcourues par des courants de sens contraires. Les composantes axiale et radiale du champ magnétique créé par chacune d'elles dans la région de l'induit 83 sont entre elles respectivement soustractive et additive, et il en résulte que, si ces bobines sont parcourues par des courants d'intensité égale (au sens près), le flux magnétique traversant l'induit reste indépendant de celle-ci, et que le réglage de cette intensité ne fait varier que la composante radiale du champ, c'est-à-dire la force électrodynamique de compensation des efforts axiaux.

La figure 12 représente, en demi-coupe axiale, une variante de l'invention applicable à l'entraînement du rotor d'un corps de compresseur à rotor et stator. Ce corps comporte, de façon classique, une série de couronnes d'aubes fixes telles que 1118 solidaires d'un carter 1000, alternant avec une série de couronnes d'aubes mobiles telles que 1119 solidaires d'un tambour 1120 qui tourillonne dans des paliers 1121 et 1122.

Le tambour 1120 est mis en rotation par un moteur électrique de type homopolaire constitué d'un assemblage de disques alternativement fixes et mobiles, tels respectivement que 1123 et 1124, et d'une bobine de champ 1125 maintenue par un anneau 1126 solidaire de la jante 1131 d'une couronne d'aubes fixes 1118.

L'ensemble des disques mobiles 1124 constitue l'induit proprement dit du moteur homopolaire; ces disques sont fixés par leur bord extérieur au tambour 1120, mais sont électriquement isolés de celui-ci. Les disques fixes 1123 situés

entre les disques mobiles 1124 mettent en contact électrique le bord extérieur d'un disque mobile avec le bord intérieur du disque mobile voisin par l'intermédiaire de contacts tournants tels que 1127, qui peuvent avantageusement être constitués par un anneau de métal liquide. Enfin, les disques extrêmes 1123<sub>a</sub> et 1124<sub>a</sub> sont en contact électrique respectivement avec des conducteurs cylindriques 1128 et 1129, entre lesquels est interposé un manchon cylindrique isolant 1130 sur lequel sont fixés les disques fixes autres que 1123<sub>a</sub>.

La bobine de champ schématisée en 1125 est constituée d'un enroulement supraconducteur entouré d'un manchon cryogénique; cet enroulement est formé de spires coaxiales à l'induit. La flèche B représente la direction des lignes du champ magnétique engendré par la bobine 1125. Dans la région occupée par les disques 1124, le champ B est sensiblement homogène et axial. Les flèches I représentent le trajet du courant à travers l'induit : on voit qu'il traverse dans le même sens chacun des disques 1124. Il en résulte que les forces de Laplace dues au champ B et au courant I engendrent en chacun des disques 1124 des couples électrodynamiques de même sens.

Le moteur est connecté à la génératrice homopolaire (non représentée) qui lui est associée, par l'intermédiaire du conducteur cylindrique 1129 et d'un conducteur central 1111.

La figure 13 représente une variante d'exécution du compresseur contrarotatif représenté à la figure 2, mais dans laquelle les induits sont, non pas cylindriques, mais en forme de disques.

Ce compresseur comporte, par exemple, huit couronnes d'aubes contrarotatives 1219 qui reposent en rotation, par l'intermédiaire de moyens décrits plus loin, sur un cylindre creux 1211 qui est fixe et sert, en même temps que de conducteur électrique, de bâti à l'ensemble du compresseur. Le cylindre 1211 est fixé, par exemple à l'aide de bras radiaux (non représentés), au carter (non représenté) qui délimite de façon classique la veine gazeuse à la périphérie des aubages.

Chaque étage du compresseur comporte une couronne d'aubes 1219 fixée à une jante 1231 solidaire d'un disque 1224 qui constitue l'induit du moteur homopolaire qui lui est associé. De part et d'autre de chaque induit 1224 et coaxialement par

rapport à lui sont disposés des enroulements supraconducteurs 1125, entourés d'une gaine cryogénique 1225a dans laquelle circule de l'hélium liquide, et supportée par des organes fixes, tels que des disques, désignés par les repères 1223, 1223a,  
5 1223b, mécaniquement solidaires du support cylindrique 1211 et isolés électriquement de celui-ci par une couche d'alumine (non représentée).

Les enroulements 1225 sont traversés par des courants de même sens et créent un champ magnétique axial dont les lignes 10 sont schématiquement figurées par les flèches B.

Le bord intérieur circulaire des induits 1224 (exception faite pour celui de la première couronne d'aubes en amont) constitue une première borne électrique qui repose sur l'une des extrémités latérales d'une sémelle cylindrique 1228 des  
15 disques fixes 1223a par l'intermédiaire d'un contact tournant 1227a à métal liquide. Les induits 1224 comportent à leur périphérie un épaulement circulaire 1224a constituant une deuxième borne électrique qui prend appui par l'intermédiaire d'un autre contact tournant 1227b à métal liquide sur une bague conductrice 20 1229 solidaire des disques fixes 1223b, qui alternent axialement avec les disques fixes 1223a.

Dans la partie supérieure de la région située entre deux enroulements 1225 consécutifs, le champ B possède une composante radiale appréciable; l'orientation des induits 1224 25 évolue en conséquence et présente une partie inclinée 1224b dans la région correspondante. On peut également remarquer que le contour méridien des surfaces qui délimitent les contacts tournants 1227a et 1227b est sensiblement parallèle aux lignes du champ B dans leur voisinage; on évite ainsi qu'en rotation 30 des courants parasites ne prennent naissance au sein du métal liquide, courants qui engendreraient des pertes appréciables.

Il apparaît également sur la figure 13 que la disposition générale des induits est telle que l'ensemble formé par deux induits consécutifs soit globalement symétrique par rapport au 35 plan médian du disque fixe 1223a ou 1223b (suivant le cas) disposé entre lesdits induits. Toutefois, on peut remarquer que la disposition du premier et du dernier étages du compresseur diffère de celle des étages intermédiaires en ceci que le contact tournant 1227a du premier étage se fait directement avec le

cylindre central 1211 et que la semelle cylindrique 1228<sup>1</sup> du dernier disque fixe 1223<sup>a</sup> est constituée par l prolongement d'un conducteur annulaire 1212 qui entoure le conducteur 1211. Les conducteurs 1211 et 1212 sont reliés, comme dans les cas 5 précédents, à la génératrice homopolaire (non représentée).

Les flèches I de la figure 13 indiquent schématiquement le trajet du courant d'alimentation des induits 1224. On voit que les éléments 1228 et 1229 mettent électriquement en série l'ensemble des induits, et que deux induits consécutifs 10 quelconques sont traversés par des courants de sens contraires et par des champs magnétiques globalement axiaux et de même sens. Il en résulte que les couples des forces de Laplace exercés sur chacun d'eux sont de signes contraires, ainsi que le sens de rotation des couronnes d'aubes consécutives 1219<sup>a</sup> et 1219<sup>b</sup> 15 qu'ils entraînent, comme précédemment indiqué.

L'encaissement des contraintes radiales et axiales subies par chaque étage de compresseur en rotation est effectué suivant deux modalités distinctes. Les contraintes radiales sont absorbées par les contacts tournants à métal liquide qui 20 remplissent la fonction de paliers fluides de centrage. En vue de pourvoir à la compensation des efforts axiaux, les induits 1224 représentés à la figure 13 comportent, comme indiqué précédemment en regard de la figure 7, des fentes inclinées 1224<sup>c</sup> uniformément réparties sur leur pourtour, dans une région où 25 le champ B possède une composante radiale notable. L'inclinaison de ces fentes permet de donner au vecteur densité de courant une composante tangentielle à laquelle est proportionnelle la force électrodynamique engendrée. Le sens d'inclinaison des fentes 1224<sup>c</sup> est celui qui correspond à la compensation des 30 efforts aérodynamiques axiaux, le sens du courant I traversant l'induit et celui du champ magnétique étant pris identiques à ceux représentés sur la figure 13.

Pour un observateur se trouvant d'un même côté par rapport aux aubages du compresseur représenté à la figure 13, 35 le sens de l'inclinaison des fentes 1224<sup>c</sup> est le même pour les induits des couronnes d'aubes 1219<sup>a</sup> tournant dans un sens et 1219<sup>b</sup> tournant dans l'autre.

L'installation motrice à turbine à gaz à double flux représentée schématiquement à la figure 14 comporte, de façon

classique, une soufflante frontale 1c à taux de dilution élevé par laquelle l'air est forcé d'une part dans un conduit annulaire périphérique délimité entre un carénage extérieur 2c et une enveloppe 3c, et d'autre part dans un conduit central comportant d'amont en aval deux corps de compresseur 4c et 5c respectivement à basse et haute pression, une chambre de combustion 6c et deux corps de turbine 7c et 8c respectivement à haute et basse pression.

Selon ce mode de réalisation de l'invention, la transmission de l'énergie fournie par les organes de détente aux organes de compression s'effectue de façon mixte, en ceci qu'elle combine l'utilisation d'une transmission électrique selon l'invention à celle de moyens conventionnels. Les corps de compresseur 4c et 5c sont, en effet, reliés de façon classique par des arbres rotatifs coaxiaux 9c et 10c aux corps de turbine correspondants 8c et 7c, tandis que la soufflante 1c est entraînée au moyen d'une transmission électrique schématisée en 11c, qui, comme on le verra plus loin d'une façon plus détaillée, comporte une génératrice homopolaire couplée au corps de turbine 8c à basse pression par l'intermédiaire de l'arbre 9c et alimentant un moteur homopolaire qui fournit à la soufflante le couple nécessaire à son entraînement.

Une telle disposition permet de supprimer la nécessité d'entraîner la soufflante par un corps de turbine supplémentaire à basse pression, qui, tout particulièrement lorsque le taux de dilution recherché est important, devrait tourner à très faible vitesse et comporter par conséquent un grand nombre d'étages, ceux-ci travaillant dans des conditions d'adaptation particulièrement défavorables. Les machines homopolaires de la transmission électrique 11c peuvent, en effet, être conçues de telle sorte que la vitesse de rotation optimale de la soufflante 1c soit obtenue pour une vitesse de rotation de l'arbre 9c correspondant aux seules conditions de bonne adaptation des corps de compresseur 4c et de turbine 8c dont il est solidaire.

La figure 15 montre de façon plus détaillée un exemple de réalisation de la transmission électrique 11c reliant la soufflante au corps de turbine à basse pression du turbo-réacteur de la figure 14.

Cette transmission comporte, dans un carénage profilé

12<sub>c</sub> coaxial au carter 3<sub>c</sub> (figure 14) et fixé à celui-ci par des moyens non représentés, une génératrice homopolaire 14<sub>c</sub> et un moteur homopolaire 15<sub>c</sub>, dont les induits respectifs 16<sub>c</sub> et 17<sub>c</sub> sont des disques dont l'épaisseur est radialement décroissante 5 vers la périphérie afin que la densité du courant qui y circule y soit sensiblement uniforme.

L'induit 16<sub>c</sub> est fixé par l'intermédiaire d'une pièce de raccordement 18<sub>c</sub> à un arbre tubulaire 19<sub>c</sub> qui constitue un prolongement du rotor 20<sub>c</sub> du compresseur à basse pression 4<sub>c</sub> 10 (figure 14) en amont d'un palier à billes 21<sub>c</sub> dans lequel il tourillonne.

La couronne d'aubes mobiles 1<sub>c</sub> de la soufflante est supportée par une pièce conique 22<sub>c</sub> constituant le prolongement d'un arbre tubulaire 23<sub>c</sub> coaxial à l'arbre 19<sub>c</sub>, qui comporte 15 une bride 24<sub>c</sub> à laquelle est fixé l'induit 17<sub>c</sub> du moteur homopolaire 15<sub>c</sub>. L'arbre 23<sub>c</sub> tourillonne dans un palier à billes 25<sub>c</sub> et dans un palier à rouleaux 26<sub>c</sub> dont la bague extérieure est fixée à l'arbre 19<sub>c</sub> au droit du palier 21<sub>c</sub>.

Les paliers 21<sub>c</sub> et 25<sub>c</sub> sont fixés par leur bague extérieure respectivement à un prolongement intérieur 26<sub>c</sub> du carénage 12<sub>c</sub> et à une virole 27<sub>c</sub> constituant avec ce dernier une structure de rigidité.

Un conducteur annulaire fixe 28<sub>c</sub> solidaire de la virole 27<sub>c</sub> relie entre elles les extrémités radiales périphériques des induits 16<sub>c</sub> et 17<sub>c</sub> par l'intermédiaire de contacts tournants à métal liquide 29<sub>c</sub> et 30<sub>c</sub>, respectivement. Un conducteur annulaire 31<sub>c</sub> fixé à la base de l'induit 17<sub>c</sub> relie celle-ci à la base de l'induit 16<sub>c</sub> par l'intermédiaire d'un troisième contact tournant 32<sub>c</sub> à métal liquide. Ainsi se trouve constitué un circuit électrique fermé qui comprend l'induit 16<sub>c</sub>, le conducteur fixe 28<sub>c</sub>, l'induit 17<sub>c</sub> et son prolongement 31<sub>c</sub>. Ce circuit est plongé dans son ensemble dans le champ magnétique sensiblement axial créé par un enroulement supraconducteur schématisé en 33<sub>c</sub>, qui est fixé à la virole 27<sub>c</sub>. Compte tenu de la configuration du circuit, les induits 16<sub>c</sub> et 17<sub>c</sub> tournent dans le même sens, et leurs vitesses respectives sont dans le même rapport que les flux magnétiques traversant chacun d'eux; ce rapport est déterminé par la hauteur radiale relative du conducteur 28<sub>c</sub>, qui joue le rôle d'un élément de réaction.

Afin de permettre l'utilisation, dans les contacts tournants, d'un alliage tel qu'un eutectique sodium-potassium, qui est très oxydable, une chambre étanche 34c, comportant des moyens (non représentés) d'introduction d'un gaz inert sous 5 pression tel que l'azote ou l'argon, est réalisée autour du circuit électrique au moyen de cloisons 35c et 36c fixées au conducteur 28c et munies de garnitures 37c et 38c assurant un contact étanche respectivement avec les arbres 19c et 23c, et d'une troisième garniture d'étanchéité 39c disposée entre ces 10 derniers.

La paroi 36c est électriquement isolée du conducteur 28c et supporte l'élément fixe 40c d'un contact tournant 41c dont la partie mobile est constituée par une bride 42c solidaire de l'induit 17c et en contact électrique avec lui. On peut 15 ainsi, lorsque l'installation est en régime, recueillir entre la paroi 36c et son support 28c une tension électrique susceptible d'alimenter, par l'intermédiaire de conducteurs non représentés, les diverses installations électriques de servitude montées à bord de l'avion. En outre, le démarrage de l'installation peut être assuré en reliant au moment voulu les conducteurs précités à une source d'énergie électrique extérieure.

Les paliers 21c, 25c et 26c sont placés de part et d'autre de l'enroulement de champ 33c et à une certaine distance de celui-ci. Cette précaution vise à éviter la création de courants induits dans les éléments de roulement, tels que billes ou rouleaux. En outre, et dans le même but, des enroulements 43c et 44c disposés dans le voisinage de ces paliers visent à créer un champ magnétique qui s'oppose localement à celui qui est engendré par l'enroulement 33c. Ces dispositions sont complétées par des éléments de blindage 45c et 46c constitués d'un anneau de forte perméabilité magnétique qui permettent de supprimer l'influence du champ résiduel dans les paliers 21c et 25c.

Comme il a été dit plus haut, le rapport des vitesses 35 de la soufflante 1c et du rotor 20c est déterminé par le rapport des flux magnétiques traversant les induits 16c et 17c. Dans la disposition de la figure 15, et en raison de l'unicité de l'enroulement de champ 33c, ce rapport ne dépend que de la géométrie des induits. Cependant, et aux fins de rendre réglable

le rapport précité, on pourrait remplacer en variante l'enroulement 33c par deux enroulements de champ distincts munis d moyens de réglage du rapport des intensités de courant traversant chacun d'eux.

5

Il va de soi que les modes de réalisation décrits ne sont que des exemples et qu'on pourrait les modifier, notamment par substitution d'équivalents techniques, sans sortir pour cela du cadre de l'invention.

## REVENDICATIONS

1. Installation motrice à turbine à gaz comprenant un compresseur, une turbine, et un système d'entraînement dudit compresseur à partir de ladite turbine, caractérisée en ce que ledit système d'entraînement comprend au moins une machine électrique homopolaire couplée à la turbine et fonctionnant en génératrice, et au moins une machine électrique homopolaire couplée au compresseur et fonctionnant en moteur, ledit moteur étant alimenté par le courant électrique fourni par ladite génératrice.
- 10 2. Installation suivant la revendication 1, caractérisée en ce que le support d'au moins une couronne d'aubes rotoriques du compresseur et/ou de la turbine présente au moins une partie commune avec l'induit d'une machine homopolaire.
- 15 3. Installation suivant la revendication 2, dans laquelle le compresseur et/ou la turbine comporte une pluralité de couronnes d'aubes rotoriques dont chacune est portée par une roue indépendante, caractérisée en ce qu'une partie de ladite roue constitue l'induit d'une machine homopolaire associée à ladite roue.
- 20 4. Installation suivant la revendication 3, caractérisée en ce que au moins deux couronnes d'aubes consécutives du compresseur et/ou de la turbine tournent en sens inverses l'une de l'autre.
- 25 5. Installation suivant la revendication 3 ou la revendication 4, caractérisée en ce que les roues du compresseur et/ou de la turbine sont montées rotatives sur un arbre fixe muni de moyens d'isolation électrique, les induits de deux machines homopolaires adjacentes étant connectés électriquement entre eux par un élément à forme de révolution disposé coaxialement auxdits induits.
- 35 6. Installation suivant l'une quelconque des revendications 3 à 5, caractérisée en ce que chacune desdites roues comprend, limitée par deux bornes électriques circulaires de diamètres différents et coaxiales auxdites roues, une portion en forme de disque constituant l'induit d'une machine homopolaire associée à ladite roue; et en ce que l'inducteur de ladite machine homopolaire comprend, montés de part et d'autre de ladite roue et coaxialement à celle-ci, deux enroulements parcourus par des courants de même sens.

7. Installation suivant l'une quelconque des revendications 3 à 5, caractérisée en ce que chacune desdites roues comprend, limitée par deux bornes électriques circulaires de diamètres différents et coaxiales auxdites roues, une portion en forme de disque constituant l'induit d'une machine homopolaire associée à ladite roue; en ce que chacune desdites roues est séparée de la suivante par un enroulement inducteur coaxial auxdites roues et supporté par un organe fixe; et en ce que ledit organe fixe est solidaire d'une bague coaxiale auxdites roues et connectant électriquement, par l'intermédiaire de contacts glissants, une borne circulaire de l'une des roues avec la borne circulaire homologue de la roue située de l'autre côté dudit organe fixe.

8. Installation suivant la revendication 1, caractérisée en ce que l'induit de l'une au moins desdites machines homopolaires comprend un empilement d'organes rotatifs coaxiaux solidaires entre eux et axialement espacés, dont chacun présente une portion en forme de disque limitée par deux bornes électriques circulaires de diamètres différents et coaxiales audit empilement, lesdites portions en forme de disque étant connectées électriquement entre elles en série par l'intermédiaire d'organes fixes et de contacts glissants de façon telle que la borne de petit diamètre de l'un des disques soit connectée à la borne de grand diamètre du disque suivant de l'empilement; et en ce que l'inducteur de ladite machine homopolaire comprend, disposé coaxialement à la périphérie extérieure dudit empilement, un enroulement inducteur dont la longueur axiale est sensiblement égale à celle de ce dernier.

9. Installation suivant l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisée en ce que la pente moyenne mesurée entre les extrémités axiales de la ligne moyenne de la surface méridienne de l'induit desdites machines homopolaires est, en valeur absolue, inférieure à un pour les machines motrices et supérieure à un pour les machines génératrices.

35 10. Installation suivant l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisée en ce que l'inducteur et l'induit de l'une au moins desdites machines homopolaires sont respectivement agencés de manière telle que le champ inducteur présente une composante radiale, et les lignes de courant dans l'induit,

une composante tangentielle, ou réciproquement.

11. Installation suivant la revendication 10, caractérisée en ce qu'une partie au moins de l'induit présente, du point de vue de sa conductivité électrique, une structure anisotrope propre à donner au vecteur densité de courant dans ledit disque une composante tangentielle.

12. Installation suivant la revendication 10, caractérisée en ce que, dans ladite partie de l'induit, sont ménagées des fentes inclinées dans une direction présentant une 10 composante tangentielle.

13. Installation suivant la revendication 12, caractérisée en ce que chacune desdites fentes comprend deux portions axialement séparées et dont les inclinaisons sont différentes, et en ce que des moyens de création d'un champ inducteur auxiliaire réglable sont prévus pour faire varier les valeurs relatives des flux magnétiques traversant respectivement l'une 15 et l'autre des régions correspondantes de l'induit.

14. Installation suivant la revendication 1, caractérisée en ce que l'induit du moteur et celui de la génératrice 20 comportent, chacun, une région en forme de disque, et en ce que l'un des moyens d'alimentation électrique du moteur par la génératrice est constitué d'un contact tournant dont les deux surfaces coopérantes sont respectivement solidaires, la première, de l'une des extrémités radiales de l'induit de la génératrice, et la seconde, de l'extrémité radiale homologue de l'induit du moteur.

15. Installation suivant l'une quelconque des revendications 1 à 14, caractérisée en ce qu'une partie au moins de l'induit d'une machine homopolaire est reliée à un circuit électrique auxiliaire susceptible d'être alimenté par une source extérieure d'énergie électrique, notamment à des fins de démarrage de l'installation, et/ou de constituer lui-même une source d'énergie électrique, notamment pour l'alimentation d'organes auxiliaires de l'installation.

35 16. Installation motrice à turbine à gaz, du type à double flux et soufflante débitant dans un canal secondaire, caractérisée en ce qu'elle comprend, pour assurer l'entraînement de ladite soufflante, un système de transmission à machines homopolaires respectivement génératrice et motrice, suivant

l'une quelconque des revendications 1 à 15.

17. Installation suivant la revendication 16, caractérisée en ce que l'induit de la génératrice est solidaire d'un autre organe de compresseur faisant partie de l'installation et 5 lui-même entraîné par la turbine.

18. Installation suivant l'une quelconque des revendications 1 à 17, caractérisée en ce que l'inducteur de l'une au moins desdites machines homopolaires est associé à des moyens de réglage du flux d'induction magnétique à travers l'induit 10 ou les induits avec lesquels il coopère.

19. Installation suivant la revendication 18, caractérisée en ce que lesdits moyens sont en connexion opérative avec un dispositif de programmation des vitesses de rotation propres aux différents corps ou étages du compresseur et/ou de 15 la turbine.

20. Installation suivant l'une quelconque des revendications 1 à 19, caractérisée en ce que l'une au moins des machines homopolaires comprend un induit en forme de tambour sensiblement axial et un inducteur constitué d'au moins deux en- 20 roulements sensiblement coaxiaux audit induit et axialement espacés, lesdits enroulements étant parcourus par des courants inducteurs de sens contraires.

21. Installation suivant l'une quelconque des revendications 1 à 20, caractérisée en ce que l'une au moins desdites machines homopolaires comprend un induit présentant une première portion en forme de disque et une deuxième portion en forme de tambour sensiblement axial, et un inducteur, ledit inducteur comprenant, encadrant coaxialement ladite portion en forme de disque, des enroulements de grand diamètre parcourus par des 30 courants inducteurs de même sens pour produire dans ladite portion un champ magnétique sensiblement axial, et des enroulements de petit diamètre coaxiaux aux précédents et parcourus par des courants inducteurs de même sens opposé au précédent pour produire dans ladite portion en forme de tambour un champ magné- 35 tique sensiblement radial.

22. Installation suivant l'une quelconque des revendications 1 à 21, caractérisée en ce que l'inducteur de l'une au moins desdites machines homopolaires comprend au moins un conducteur ou enroulement maintenu dans l'état de supraconductivité.

23. Installation suivant l'une quelconque des revendications 1 à 22, caractérisée en ce que l'inducteur de l'un au moins desdites machines homopolaires est alimenté par un convertisseur statique contrôlé par des éléments semi-conducteurs tels que des thyristors.

24. Installation suivant l'une quelconque des revendications 1 à 23, caractérisée en ce que certaines au moins des parties tournantes du compresseur et/ou de la turbine reposent sur un ou des paliers fluides à métal ou alliage liquide.

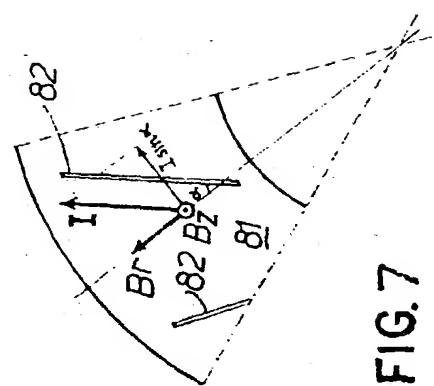
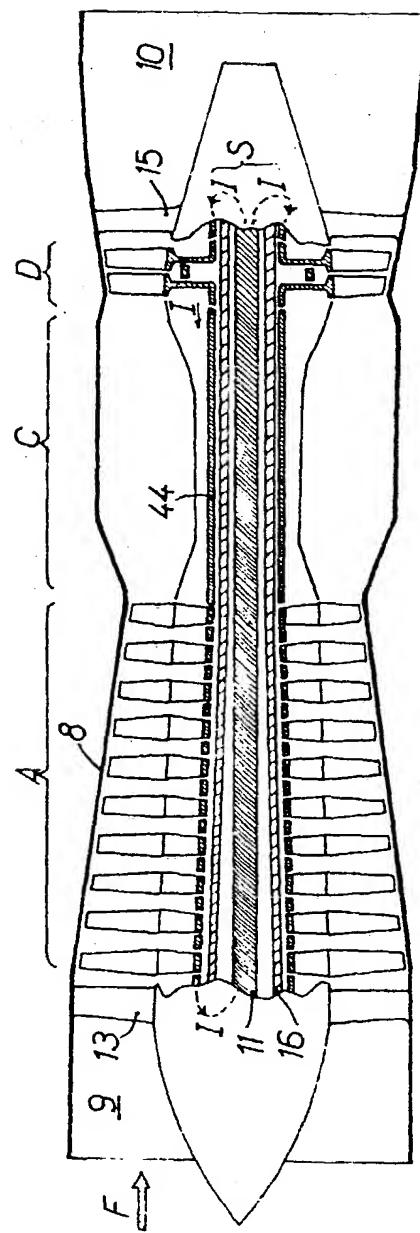
10 25. Installation suivant la revendication 24, caractérisée en ce que certains au moins desdits paliers à métal ou alliage liquide assurent en même temps le contact électrique entre les parties fixes et tournantes d'une machine homopolaire.

15 26. Installation suivant l'une quelconque des revendications 1 à 25, caractérisée en ce qu'elle comprend, dans la région d'au moins un palier, au moins un enroulement inducteur de compensation apte à engendrer, dans la région dudit palier, un champ magnétique opposé à celui qui y est créé par l'inducteur faisant partie d'une machine homopolaire voisine  
20 dudit palier.

70 01437

PL. I-8

2076450



70 01437

Pl. II-8

2076450

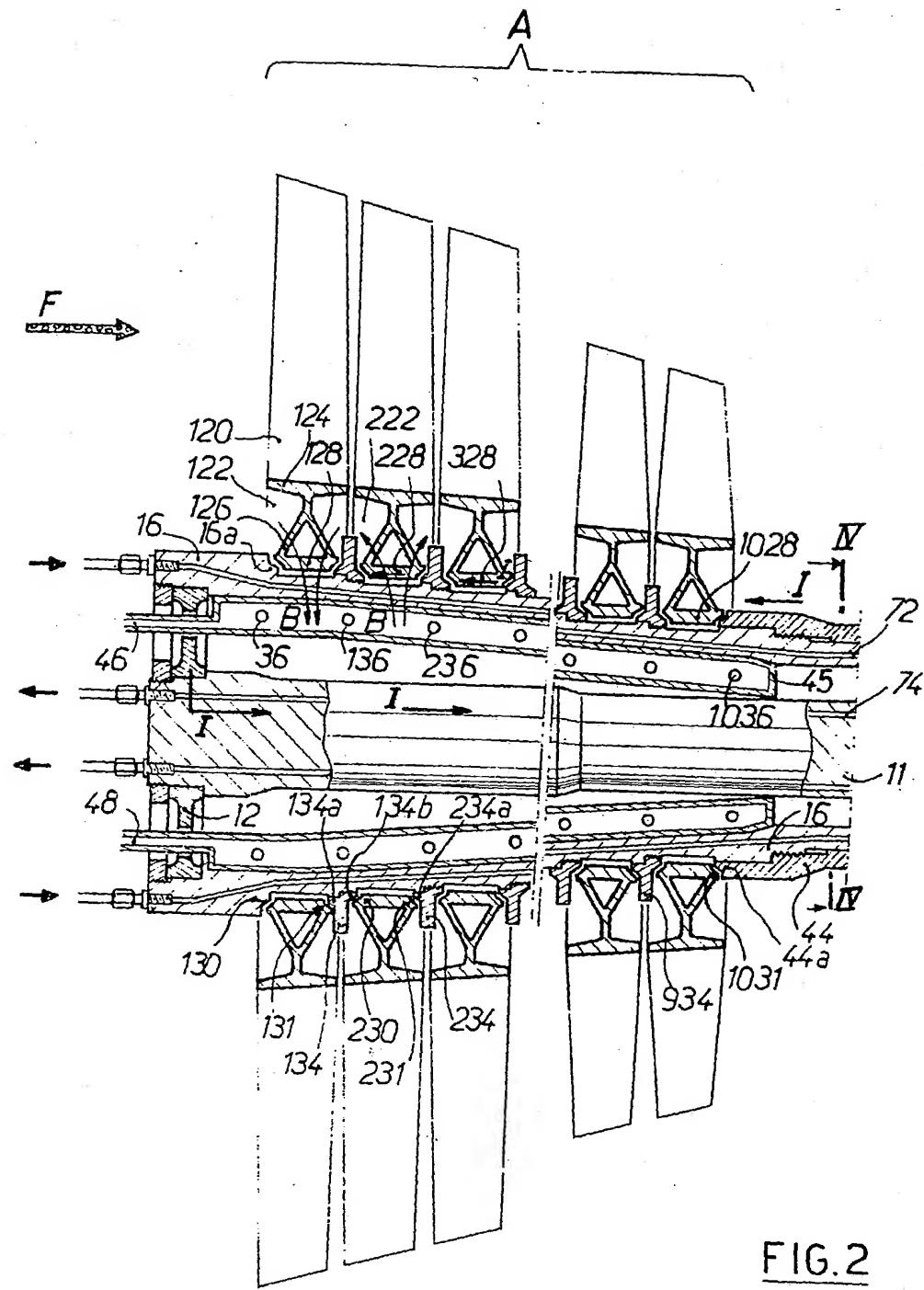


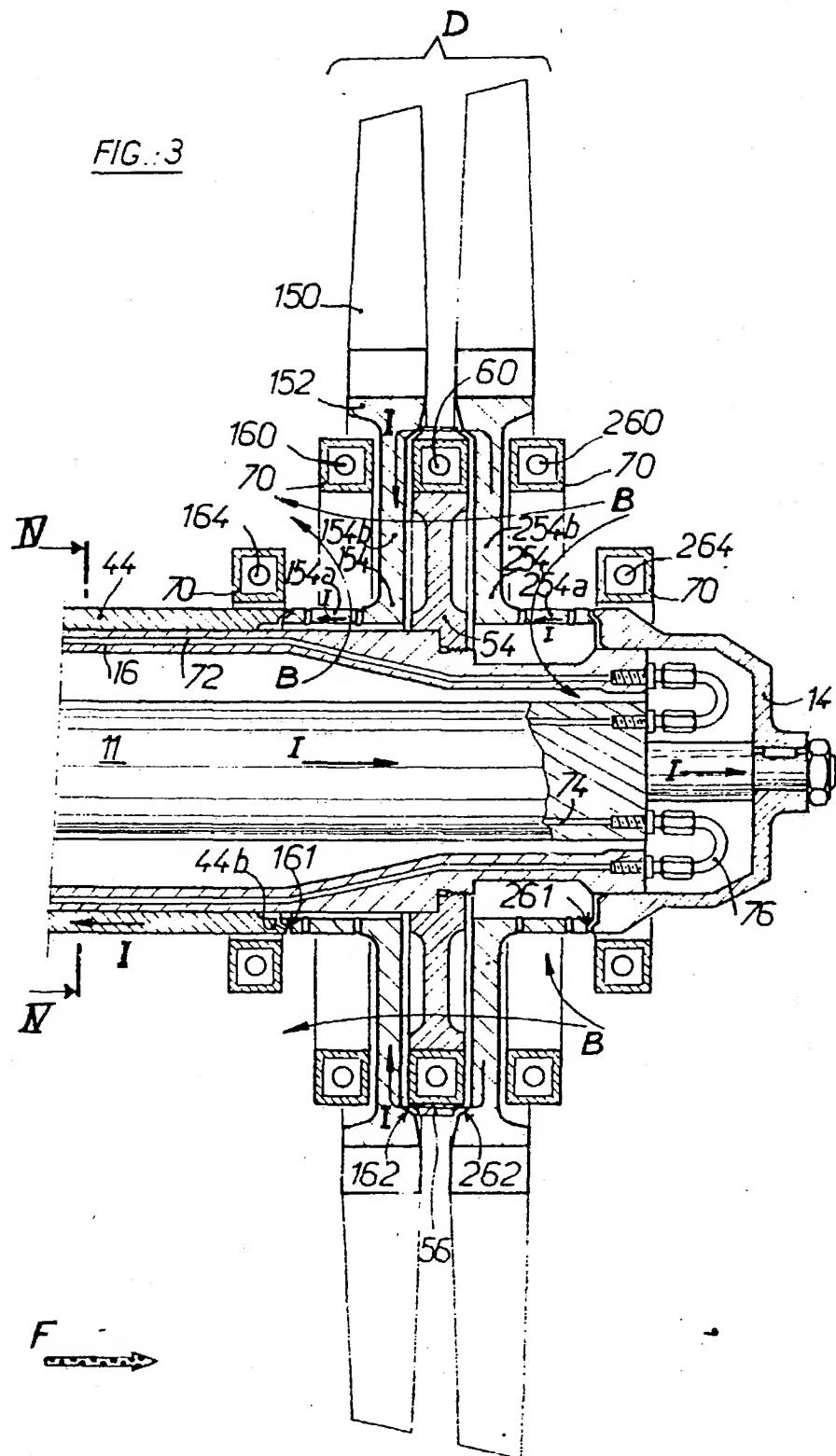
FIG. 2

70 01437

PI.III-8

2076450

FIG. 3



70 01437

Pl. IV-8

2076450

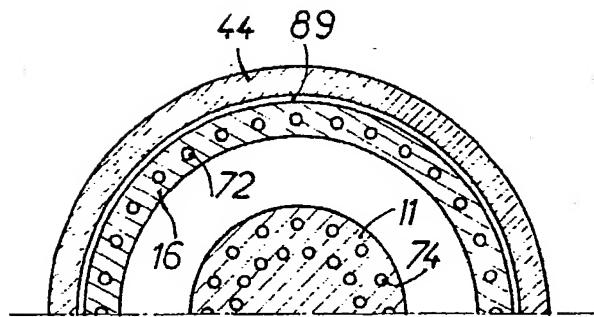
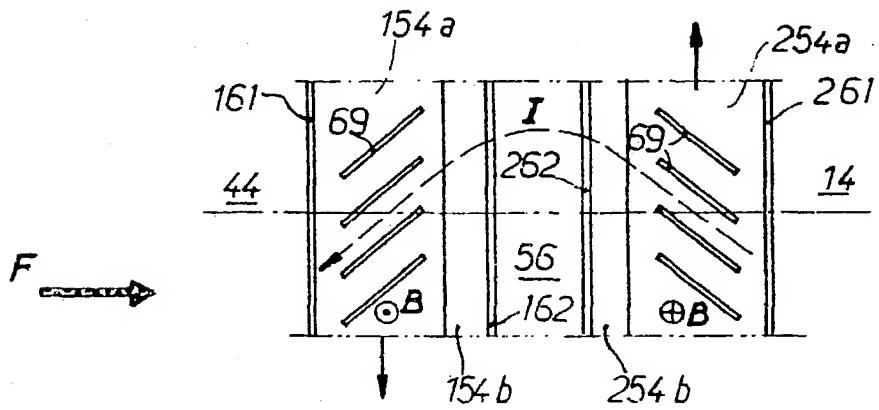
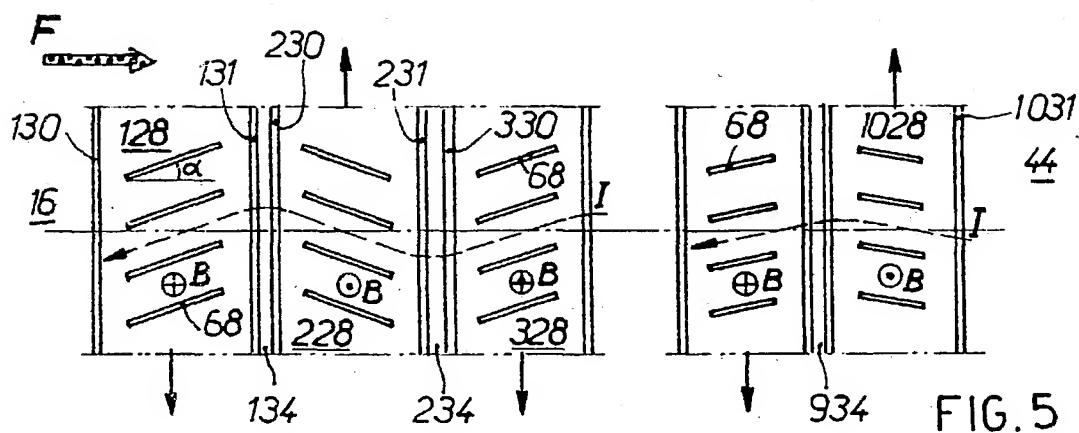


FIG. 4



70 01437

Pl. IV-8

2076450

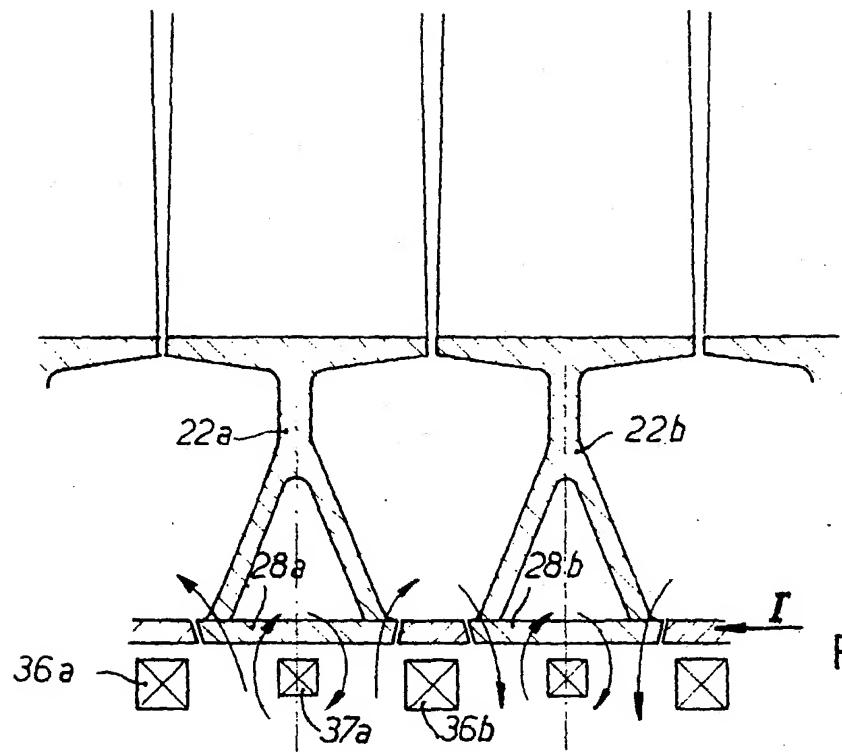


FIG. 8

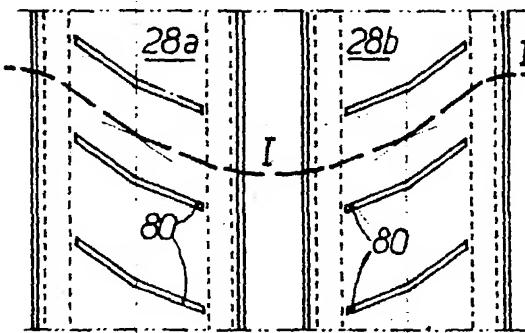


FIG. 9

70 01437

Pl. VII-8

2076450

FIG.:10

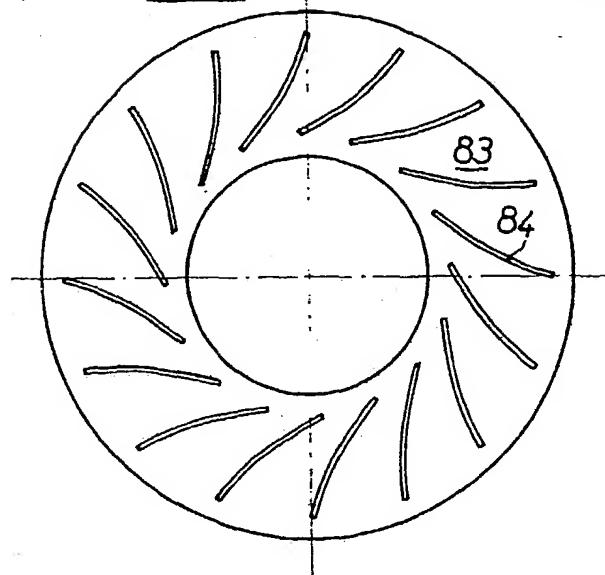


FIG.:11

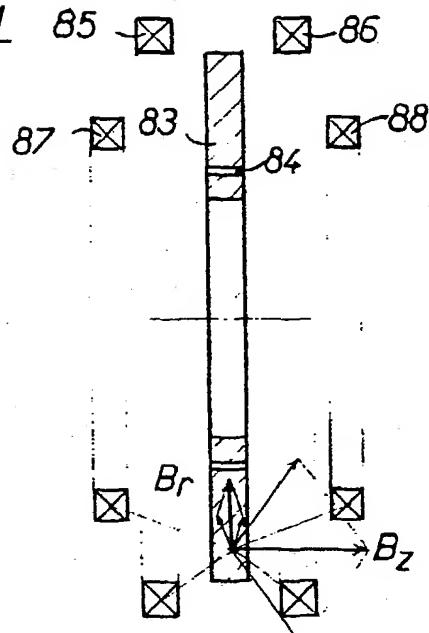
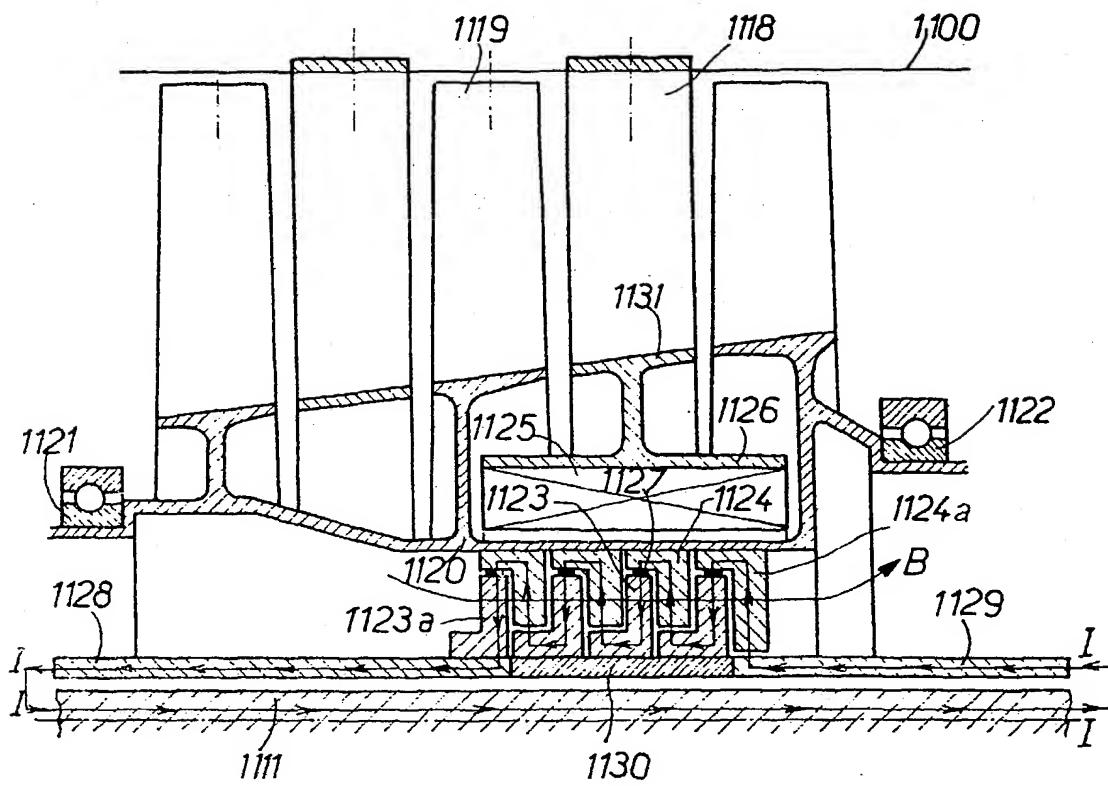


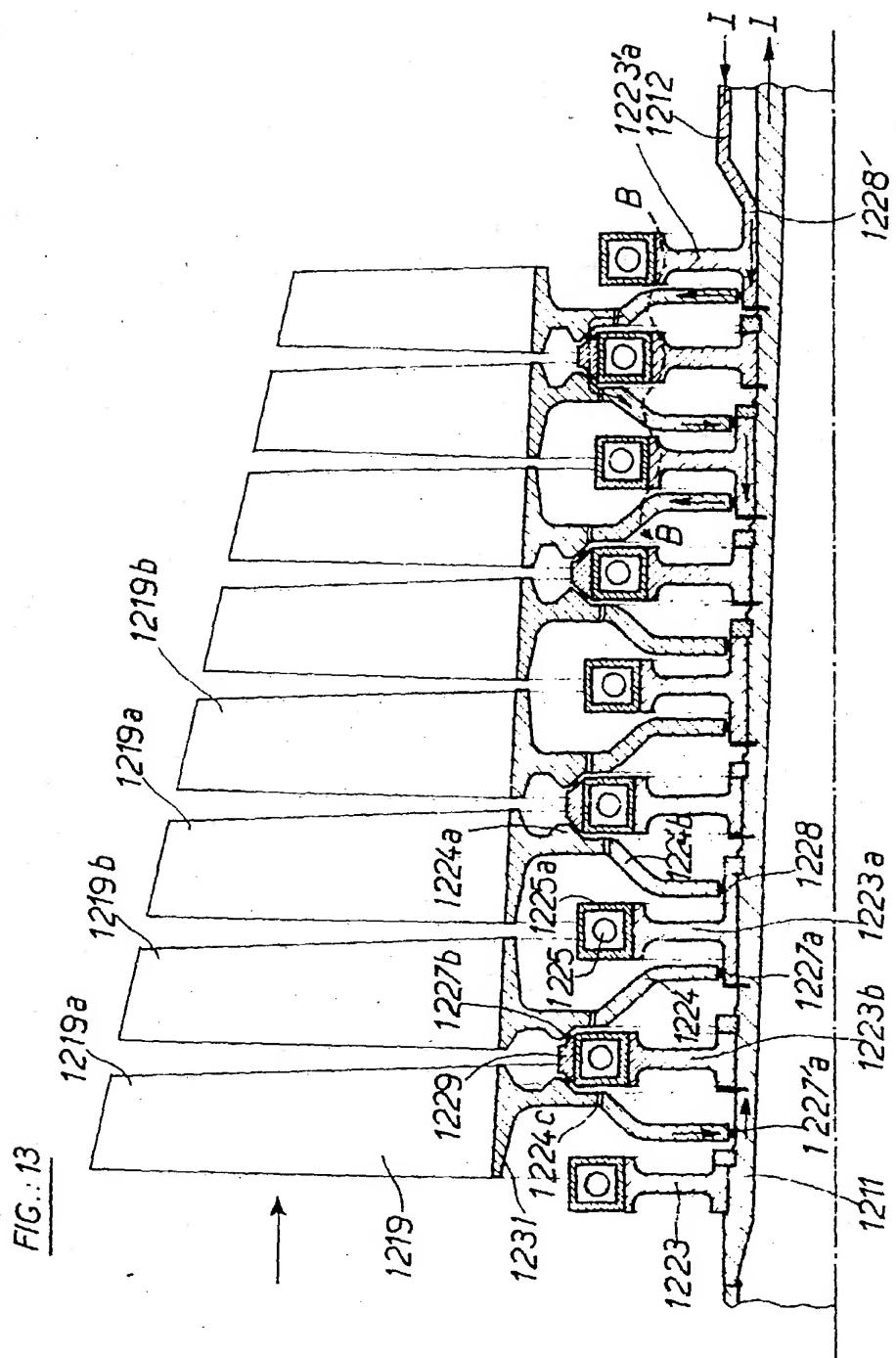
FIG.:12



70 01437

Pl. VII-8

2076450



70 01437

Pl. VIII-8

2076450

